

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

B2

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 09270569 A

(43) Date of publication of application: 14.10.97

(51) Int. Cl

**H01S 3/18****H01L 33/00**

(21) Application number: 09009813

(22) Date of filing: 22.01.97

(30) Priority:  
 25.01.96 JP 08 10556  
 25.01.96 JP 08 10558  
 25.01.96 JP 08 10560  
 31.01.96 JP 08 14946  
 01.02.96 JP 08 16322

(71) Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(72) Inventor:  
 KUME MASAHIRO  
 BAN YUZABURO  
 ISHIBASHI AKIHIKO  
 KAMIMURA NOBUYUKI  
 TAKEISHI HIDEKI  
 KIDOGUCHI ISAO

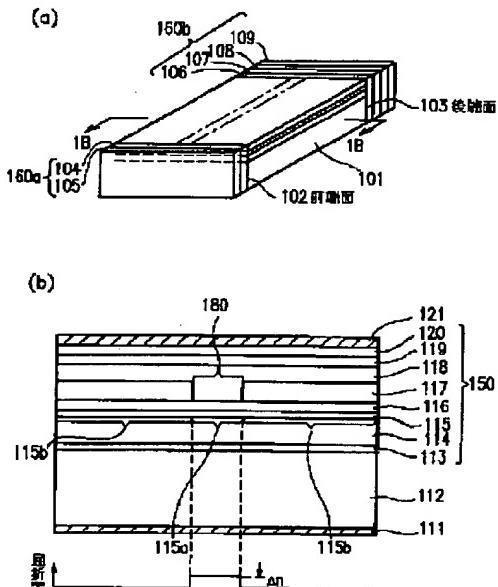
## (54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a product having a structure for confining a light in a direction parallel to an active layer, a low reflective index of mirrors as a resonator and low threshold current of laser oscillation.

**SOLUTION:** Such a GaN compd. semiconductor laser device as a device having a substrate 112 and laminate structure on this substrate. The laminate structure 150 has an  $\text{In}_g\text{Ga}_{1-z}\text{-N}$  active layer 115 (02z21) formed on a first region, a pair of n-type  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{-N}$  clad layer 114 (02x21) and p-type  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{-N}$  clad layer 116 formed at both sides of the active layer 115, and p-type  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{-N}$  clad layer 118 (02y21). It also has an  $\text{Al}_u\text{Ga}_{1-u}\text{-N}$  (02u21) current restriction structure 117 having an opening 180 corresponding to the first region for restricting the current to this region.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-270569

(43)公開日 平成9年(1997)10月14日

(51) Int.Cl.  
 H 01 S 3/18  
 H 01 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I  
 H 01 S 3/18  
 H 01 L 33/00

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数32 O.L (全18頁)

(21)出願番号 特願平9-9813  
 (22)出願日 平成9年(1997)1月22日  
 (31)優先権主張番号 特願平8-10556  
 (32)優先日 平8(1996)1月25日  
 (33)優先権主張国 日本 (JP)  
 (31)優先権主張番号 特願平8-10558  
 (32)優先日 平8(1996)1月25日  
 (33)優先権主張国 日本 (JP)  
 (31)優先権主張番号 特願平8-10560  
 (32)優先日 平8(1996)1月25日  
 (33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000005821  
 松下電器産業株式会社  
 大阪府門真市大字門真1006番地  
 (72)発明者 余 雅博  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (72)発明者 伴 雄三郎  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (72)発明者 石橋 明彦  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (74)代理人 井理士 山本 秀策

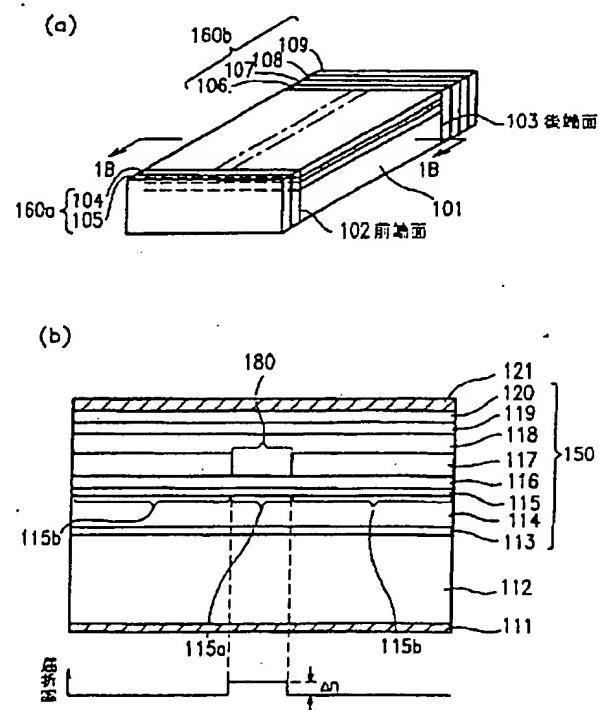
最終頁に続く

## (54)【発明の名称】 半導体レーザ装置

## (57)【要約】

【課題】 しきい値電流が低く、収差のないレーザ光が得られる、GaN系半導体レーザ装置を提供する。

【解決手段】 本発明による半導体レーザ装置は、基板112と、該基板112上に設けられた積層構造体150とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置であって、該積層構造体150は、少なくとも第1領域に形成された $In_xGa_{1-x}N$ 活性層115 ( $0 \leq z \leq 1$ )と、該活性層115を挟む一対のn型 $Al_xGa_{1-x}N$ クラッド層114 ( $0 \leq x \leq 1$ )及びp型 $Al_yGa_{1-y}N$ クラッド層116、118 ( $0 \leq y \leq 1$ )と、 $Al_uGa_{1-u}N$  ( $0 \leq u \leq 1$ )から形成されており、電流を該第1領域に狭窄するための該第1領域に対応する開口部180を有する電流狭窄構造117とを備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に設けられた積層構造体とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置であって、

該積層構造体は、

少なくとも第1領域に形成された  $In_zGa_{1-z}N$  活性層 ( $0 \leq z \leq 1$ ) と、

該活性層を挟む一对のn型  $Al_xGa_{1-x}N$  クラッド層 ( $0 \leq x \leq 1$ ) 及びp型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層 ( $0 \leq y \leq 1$ ) と、

$Al_uGa_{1-u}N$  ( $0 \leq u \leq 1$ ) から形成されており、電流を該第1領域に狭窄するための該第1領域に対応する開口部を有する電流狭窄構造と、を備えている窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項2】 前記電流狭窄構造は、n型の導電性を有し、前記p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層の中に形成されている、請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記電流狭窄構造は、n型  $Al_{u1}Ga_{1-u1}N$  層 ( $0 \leq u1 \leq 1$ ) とp型  $Al_{u2}Ga_{1-u2}N$  層 ( $0 \leq u2 \leq 1$ ) を含んでおり、前記n型  $Al_xGa_{1-x}N$  クラッド層と前記p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層との間に形成されており、

該n型  $Al_xGa_{1-x}N$  クラッド層は、該電流狭窄構造の開口部内に位置するリッジを有し、前記活性層は、該リッジの上に形成されている、請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項4】 前記電流狭窄構造は、n型の導電性を有し、前記p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層の上に形成されており、

該p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層は、該電流狭窄構造の開口部内に位置するリッジを有し、

該yは、前記uより小さい、請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項5】 前記電流狭窄構造は、ZnOによって形成されている請求項2または4に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項6】 前記基板は、n型SiCによって形成されており、該基板の表面に、n型  $AlN$  バッファー層が形成されている、請求項1から5のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項7】 前記基板の表面は、(0001)面から第1の角度で[11-20]方向に傾斜している、請求項6に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項8】 前記第1の角度は、約3度から12度までである、請求項7に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項9】 前記基板は、 $Al_2O_3$ によって形成されており、該基板の表面に、 $GaN$  バッファー層が形成されている、請求項1から5のいずれかに記載の窒化ガリ

ウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項10】 前記p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層の上に、p型コンタクト層が形成されている、請求項1から9のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項11】 前記p型コンタクト層は、p型  $GaN$  キャップ層と、 $1 \times 10^{18}/cm^3$  以上の不純物を有するp型  $GaN$  コンタクト層とを含んでいる、請求項10に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項12】 前記活性層は、少なくとも1つの  $In_aGa_{1-a}N$  量子井戸層 ( $0 \leq a \leq 1$ ) と、該量子井戸層の間に形成された  $In_bGa_{1-b}N$  バリア層 ( $0 \leq b < a \leq 1$ ) を含んでいる、請求項1から11のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項13】 基板と、該基板上に設けられた積層構造体とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置であって、

該積層構造体は、該基板の表面に平行な面内において、第1領域及び第2領域を有し、

少なくとも該第1領域に形成された  $In_zGa_{1-z}N$  活性層 ( $0 \leq z \leq 1$ ) と、

該活性層を挟む一对のn型  $Al_xGa_{1-x}N$  クラッド層 ( $0 \leq x \leq 1$ ) 及びp型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層 ( $0 \leq y \leq 1$ ) と、

電流を該第1領域に狭窄するための該第1領域に対応する開口部を有する電流狭窄構造と、を備えており、該第1領域の実効屈折率は、該第2領域の実効屈折率より高く、該第1領域の実効屈折率と該第2領域の実効屈折率との差の範囲は、0.003～0.02程度である、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項14】 前記電流狭窄構造は、n型の導電性を有し、前記p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層の中に形成されている、請求項13に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項15】 前記電流狭窄構造は、n型  $Al_{u1}Ga_{1-u1}N$  層 ( $0 \leq u1 \leq 1$ ) とp型  $Al_{u2}Ga_{1-u2}N$  層 ( $0 \leq u2 \leq 1$ ) を含んでおり、前記n型  $Al_xGa_{1-x}N$  クラッド層と前記p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層との間に形成されており、

該n型  $Al_xGa_{1-x}N$  クラッド層は、該電流狭窄構造の開口部内に位置するリッジを有し、前記活性層は、該リッジの上に形成されている、請求項13に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項16】 前記電流狭窄構造は、n型の導電性を有し、前記p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層の上に形成されており、

該p型  $Al_yGa_{1-y}N$  クラッド層は、該電流狭窄構造の開口部内に位置するリッジを有する、請求項13に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項17】 前記電流狭窄構造の屈折率は、前記p

型  $A_{1-y}Ga_{1-y}N$  クラッド層の該電流狭窄構造の開口部内に位置する部分の屈折率より小さい、請求項 14 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 18】 前記電流狭窄構造の屈折率と前記活性層の屈折率との差の範囲は、0.003~0.02 程度である、請求項 15 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 19】 前記電流狭窄構造の屈折率は、前記リッジ部の p 型  $A_{1-y}Ga_{1-y}N$  クラッド層の屈折率より小さい、請求項 16 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 20】 前記電流狭窄構造は、前記活性層からの光を吸収できる材料から形成されている、請求項 14 または 16 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 21】 前記電流狭窄構造は、 $A_{1-c}Ga_{1-c}N$  ( $0 \leq c \leq 1$ ) によって形成されている、請求項 13 から 16 のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 22】 前記電流狭窄構造は、 $In_dGa_{1-d}N$  ( $0 \leq d \leq 1$ ) によって形成されている、請求項 14 または 16 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 23】 前記基板は、 $SiC$  によって形成されており、該基板の表面は、(0001) 面から第 1 の角度で [11-20] 方向に傾斜している、請求項 13 から 22 のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 24】 前記第 1 の角度は、約 3° から 12° までである、請求項 23 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 25】 共振器端面の少なくとも一方に、発振波長の 4 分の 1 に相当する厚さの  $Al_2O_3$  膜と、発振波長の 4 分の 1 に相当する厚さの  $TiO_2$  膜とによって構成される 2 層構造が、少なくとも 1 つ形成されている、請求項 1 から 24 のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 26】 共振器端面の少なくとも一方に、発振波長の 4 分の 1 に相当する厚さの  $Al_2O_3$  膜と、発振波長の 4 分の 1 に相当する厚さのダイヤモンド膜とによって構成される 2 層構造が、少なくとも 1 つ形成されている、請求項 1 から 24 のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 27】 共振器端面の少なくとも一方に、発振波長の 4 分の 1 に相当する厚さの  $SiO_2$  膜と、発振波長の 4 分の 1 に相当する厚さの  $TiO_2$  膜とによって構成される 2 層構造が、少なくとも 1 つ形成されている、請求項 1 から 24 のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 28】 共振器端面の少なくとも一方に、発振

波長の 4 分の 1 に相当する厚さの  $SiO_2$  膜と、発振波長の 4 分の 1 に相当する厚さのダイヤモンド膜とによって構成される 2 層構造が、少なくとも 1 つ形成されている、請求項 1 から 24 のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 29】 前記  $Al_2O_3$  膜及び  $TiO_2$  膜は、スパッタにより形成されている請求項 25 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 30】 前記  $SiO_2$  膜及びダイヤモンド膜は、スパッタにより形成されている請求項 28 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 31】 前記 p 型コンタクト層の上に、P t または P d によって形成されている p 側電極が設けられている、請求項 10 または 11 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【請求項 32】 前記 p 型コンタクト層と p 側電極との間に、 $Ni$  膜が形成されている、請求項 31 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ディスクやレーザプリンター等の光情報処理装置に用いられる半導体レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 光ディスクの記録密度は、光ディスクに集光される光ビームのスポットサイズが小さいほど高くなる。光ビームのスポットサイズは、光の波長の二乗に比例するので、光ディスクの記録密度を上げるために光源である半導体レーザ装置の発振波長を短くすることが必要である。このため、近年、半導体レーザ装置の短波長化が進められている。現在、CD には、波長 780 nm (赤外) 領域で発光する  $GaAlAs$  半導体レーザ装置が用いられている。CD より記録密度の高い DVD には、波長 650 nm (赤色) 領域で発光する  $InGaNAlP$  半導体レーザ装置が用いられている。DVD の記録密度を更に上げ高い品質の画像を記録するには、青色領域で発光する半導体レーザ装置が必要である。このような半導体レーザ装置を実現できる半導体材料として、窒化ガリウム系化合物半導体が注目を浴びている。

【0003】 図 18 を参照しながら、従来の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子（特開平 7-162038 号公報）を説明する。この発光素子は、次のように製造される。

【0004】 まず、サファイア基板 160 上に、有機金属気相成長法 (MOVPE 法) により、500°C で TMG (トリメチルガリウム) 及び  $NH_3$  を供給し、 $GaN$  層 161 を堆積させる。次に、基板温度を 1000°C に昇温した後、TMA (トリメチルアルミニウム) と  $SiH_4$  (モノシラン) を追加供給し、n 型  $AlGaN$  クラッド層 162 を堆積する。次に、基板温度を 700°C に

降温した後、TM<sub>I</sub>（トリメチルインジウム）、TMG 及びNH<sub>3</sub>を供給し、InGaN活性層163を堆積させる。その後、再び基板温度を1000°Cまでに昇温し、TMA、TMG、Cp<sub>2</sub>Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）及びNH<sub>3</sub>を供給し、p型AlGaNクラッド層164を堆積する。

【0005】次に、n型GaN層161の一部が露出するまで、n型GaN層161、n型AlGaNクラッド層162、InGaN活性層163、及びp型AlGaNクラッド層164を選択的にドライエッチングする。最後に、一部露出しているn型GaN層161上にn側電極165を形成し、p型AlGaNクラッド層164上にp側電極166を形成する。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の発光素子は、発光ダイオード(LED)である。発光ダイオードは、光を閉じ込める構造を有しないので、レーザ発振を起こさせることはできない。レーザ発振を起こさせるためには、共振器が必要である。共振器としては、通常、劈開やエッ칭により形成され、平坦なミラーに加工された結晶面が用いられる。窒化ガリウム系半導体の屈折率が約2.8であるので、窒化ガリウム系半導体結晶面によって形成されたミラーの反射率は、22%という低い値を示す。このため、レーザ発振のしきい値電流は大きくなってしまう。

【0007】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、活性層に平行な方向に光を閉じ込める構造を有し、共振器としてのミラーの反射率が高く、しかも、レーザ発振のしきい値電流が低い窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置を提供することにある。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置は、基板と、該基板上に設けられた積層構造体とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置であって、該積層構造体は、少なくとも第1領域に形成されたIn<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層(0≤z≤1)と、該活性層を挟む一対のn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0≤x≤1)及びp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層(0≤y≤1)と、Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N(0≤u≤1)から形成されており、電流を該第1領域に狭窄するための該第1領域に対応する開口部を有する電流狭窄構造と、を備えており、そのことにより上記目的が達成される。

【0009】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、n型の導電性を有し、前記p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層の中に形成されている。

【0010】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、n型Al<sub>u1</sub>Ga<sub>1-u1</sub>N層(0≤u1≤1)とp型Al<sub>u2</sub>Ga<sub>1-u2</sub>N層(0≤u2≤1)とを含んでおり、前記n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層と前記p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N

クラッド層との間に形成されており、該n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層は、該電流狭窄構造の開口部内に位置するリッジを有し、前記活性層は、該リッジの上に形成されている。

【0011】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、n型の導電性を有し、前記p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層の上に形成されており、該p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層は、該電流狭窄構造の開口部内に位置するリッジを有し、該yは、前記uより小さい。

【0012】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、ZnOによって形成されている。

【0013】ある実施形態では、前記基板は、n型SiCによって形成されており、該基板の表面に、n型AlNバッファー層が形成されている。

【0014】ある実施形態では、前記基板の表面は、(0001)面から第1の角度で[11-20]方向に傾斜している。ある実施形態では、前記第1の角度は、約3°から12°までである。

【0015】ある実施形態では、前記基板は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>によって形成されており、該基板の表面に、GaNバッファー層が形成されている。

【0016】ある実施形態では、前記p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層の上に、p型コンタクト層が形成されている。ある実施形態では、前記p型コンタクト層は、p型GaNキャップ層と、1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上の不純物を有するp型GaNコンタクト層とを含んでいる。

【0017】ある実施形態では、前記活性層は、少なくとも1つのIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N量子井戸層(0≤a≤1)と、該量子井戸層の間に形成されたIn<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>Nバリア層(0≤b<a≤1)とを含んでいる。

【0018】本発明による他の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置は、基板と、該基板上に設けられた積層構造体とを備えた窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置であって、該積層構造体は、該基板の表面に平行な面内において、第1領域及び第2領域を有し、少なくとも該第1領域に形成されたIn<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層(0≤z≤1)と、該活性層を挟む一対のn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0≤x≤1)及びp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層(0≤y≤1)と、電流を該第1領域に狭窄するための該第1領域に対応する開口部を有する電流狭窄構造と、を備えており、該第1領域の実効屈折率は、該第2領域の実効屈折率より高く、該第1領域の実効屈折率と該第2領域の実効屈折率との差の範囲は、0.003~0.02程度であり、そのことにより上記目的が達成される。

【0019】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、n型の導電性を有し、前記p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層の中に形成されている。

【0020】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、n型Al<sub>u1</sub>Ga<sub>1-u1</sub>N層(0≤u1≤1)とp型Al<sub>u2</sub>

$Ga_{1-u_2}N$ 層 ( $0 \leq u_2 \leq 1$ ) を含んでおり、前記n型  $A1_xGa_{1-x}N$  クラッド層と前記p型  $A1_yGa_{1-y}N$  クラッド層との間に形成されており、該n型  $A1_xGa_{1-x}N$  クラッド層は、該電流狭窄構造の開口部内に位置するリッジを有し、前記活性層は、該リッジの上に形成されている。

【0021】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、n型の導電性を有し、前記p型  $A1_yGa_{1-y}N$  クラッド層の上に形成されており、該p型  $A1_yGa_{1-y}N$  クラッド層は、該電流狭窄構造の開口部内に位置するリッジを有する。

【0022】ある実施形態では、前記電流狭窄構造の屈折率は、前記p型  $A1_yGa_{1-y}N$  クラッド層の該電流狭窄構造の開口部内に位置する部分の屈折率より小さい。

【0023】ある実施形態では、前記電流狭窄構造の屈折率と前記活性層の屈折率との差の範囲は、0.003～0.02程度である。

【0024】ある実施形態では、前記電流狭窄構造の屈折率は、前記リッジ部のp型  $A1_yGa_{1-y}N$  クラッド層の屈折率より小さい。

【0025】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、前記活性層からの光を吸収できる材料から形成されている。

【0026】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、 $A1_cGa_{1-c}N$  ( $0 \leq c \leq 1$ ) によって形成されている。

【0027】ある実施形態では、前記電流狭窄構造は、 $In_dGa_{1-d}N$  ( $0 \leq d \leq 1$ ) によって形成されている。

【0028】ある実施形態では、前記基板は、SiCによって形成されており、該基板の表面は、(0001)面から第1の角度で[11-20]方向に傾斜している。ある実施形態では、前記第1の角度は、約3°から12°までである。

【0029】ある実施形態では、共振器端面の少なくとも一方で、発振波長の4分の1に相当する厚さの  $A1_2O_3$  膜と、発振波長の4分の1に相当する厚さの  $TiO_2$  膜とによって構成される2層構造が、少なくとも1つ形成されている。

【0030】ある実施形態では、共振器端面の少なくとも一方で、発振波長の4分の1に相当する厚さの  $A1_2O_3$  膜と、発振波長の4分の1に相当する厚さのダイヤモンド膜とによって構成される2層構造が、少なくとも1つ形成されている。

【0031】ある実施形態では、共振器端面の少なくとも一方で、発振波長の4分の1に相当する厚さの  $SiO_2$  膜と、発振波長の4分の1に相当する厚さの  $TiO_2$  膜とによって構成される2層構造が、少なくとも1つ形成されている。

【0032】ある実施形態では、共振器端面の少なくと

も一方で、発振波長の4分の1に相当する厚さの  $SiO_2$  膜と、発振波長の4分の1に相当する厚さのダイヤモンド膜とによって構成される2層構造が、少なくとも1つ形成されている。

【0033】ある実施形態では、前記  $A1_2O_3$  膜及び  $TiO_2$  膜は、スパッタにより形成されている前記  $SiO_2$  膜及びダイヤモンド膜は、スパッタにより形成されている。

【0034】ある実施形態では、前記p型コンタクト層の上に、PtまたはPdによって形成されているp側電極が設けられている。ある実施形態では、前記p型コンタクト層とp側電極との間に、Ni膜が形成されている。

【0035】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、本願明細書において、「窒化ガリウム系化合物半導体」とは、窒化ガリウム(GaN)のGaの一部あるいは全体が他のIII族元素に置き換えられた半導体、例えば、 $In_sGa_{1-s}N$  ( $0 \leq s \leq 1$ ) 及び  $A1_tGa_{1-t}N$  ( $0 \leq t \leq 1$ ) を含み、各構成原子の一部がドーパント原子等に置き換えられた半導体や、他の不純物が添加された半導体をも含むものとする。 $In_sGa_{1-s}N$  及び  $A1_tGa_{1-t}N$  は、それぞれ「InGaN」及び「AlGaN」とも略称する。

【0036】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置において、活性層に平行な方向に、光を活性層の選択された領域に閉じ込めるために、以下に示す3つの方法が用いられる。

【0037】第一の方法は、p型クラッド層内に、開口部を有するn型電流狭窄層を設ける。このn型電流狭窄層を設けることによって、活性層の選択された領域に電流が流れる。また、n型電流狭窄層を設けることによって、活性層に平行な方向に屈折率差を付けることができる。その屈折率差は、0.003～0.02程度の範囲にあることが好ましい。屈折率差が大きすぎると、高次のモードが立つことになり、屈折率差が小さすぎると、光は活性層に有效地に閉じ込められないからである。

【0038】上記屈折率差をつける方法は2つある。1つは、p型  $A1GaN$  クラッド層のA1組成より高いA1組成を有する  $A1GaN$  層をn型電流狭窄層に用いることによって、n型電流狭窄層の屈折率をp型クラッド層の屈折率より小さくする。屈折率差をつけるもう1つの方法は、活性層よりバンドギャップの小さい半導体層を電流狭窄層に用いることによって、電流狭窄層がレーザ光を吸収できるようにする。例えば、活性層に  $In_aGa_{1-a}N$  ( $0 \leq a \leq 1$ ) を用いる場合に、 $In_aGa_{1-a}N$  層よりバンドギャップの小さい  $In_bGa_{1-b}N$  ( $0 \leq a < b \leq 1$ ) 層を電流狭窄層に用いればよい。

【0039】第二の方法は、活性層の幅を狭くし、p型クラッド層の下にn型埋込層とp型埋込層を設ける。このn型埋込層及びp型埋込層を設けることによって、活

性層領域のみに電流が流れる。また、n型埋込層及びp型埋込層の屈折率を活性層の屈折率より小さくすることによって、活性層に平行な方向に屈折率差を付ける。その屈折率差は、上記と同様な理由で、0.003~0.02程度の範囲にあることが好ましい。

【0040】第三の方法は、p型クラッド層の選択された領域に、ストライプ状のリッジを形成し、リッジの両側にn型埋込層を設ける。リッジの底辺は活性層に達していない。この構成によって、活性層の選択された領域に電流が流れる。また、この構成によって、活性層に平行な方向に屈折率差が付けられる。その屈折率差は、上記と同様な理由で、0.003~0.02程度の範囲にあることが好ましい。

【0041】上記屈折率差をつける方法は2つある。1つは、p型AlGaNクラッド層のA1組成より高いA1組成を有するAlGaN層をn型埋込層に用いられることによって、n型埋込層の屈折率をp型クラッド層の屈折率より小さくする。屈折率差をつけるもう1つの方法は、活性層よりバンドギャップの小さい半導体層を埋込層に用いることによって、埋込層がレーザ光を吸収できるようにする。例えば、活性層にIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N (0 ≤ a ≤ 1) を用いる場合に、In<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N層よりバンドギャップの小さいIn<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N (0 ≤ a < b ≤ 1) 層を埋込層に用いればよい。

【0042】また、共振器としてのミラーの反射率を高めるために、レーザ素子の端面に、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>等の膜と、TiO<sub>2</sub>やダイヤモンド等の膜とを交互に2層以上積層させた多層構造を設ける。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及びSiO<sub>2</sub>膜は、1.5程度の屈折率を有する。TiO<sub>2</sub>及びダイヤモンド膜は、2程度以上の屈折率を有する。いずれの膜も、レーザ光に対して透明な誘電体であり、発振波長の4分の1に相当する厚さを有する。

【0043】(第1の実施形態) 図1(a)および(b)を参照しながら、本発明による半導体レーザ装置の第1の実施形態を説明する。

【0044】図1(a)は、本実施形態の半導体レーザ装置の斜視図である。この半導体レーザ装置は、図1(a)に示されるように、前端面102(共振器端面102)及び後端面103(共振器端面103)を有する積層構造部101と、前端面102及び後端面103に形成された共振器160とを備えている。共振器160は、前端部160a及び後端部160bによって形成される。レーザ光は、前端面102から取り出される。

【0045】共振器160の前端部160aは、前端面102に被着された、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>又はSiO<sub>2</sub>から形成されている誘電体膜104(厚さ、発振波長の1/4程度)、及びTiO<sub>2</sub>又はダイヤモンドから形成されている誘電体膜105(厚さ、発振波長の1/4程度)を有する。共振器160の後端部160bは、後端面103に被着された、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>又はSiO<sub>2</sub>によって形成され

ている誘電体膜106及び108(厚さ、発振波長の1/4程度)と、TiO<sub>2</sub>又はダイヤモンドによって形成されている誘電体膜107及び109膜(厚さ、発振波長の1/4程度)とを有する。

【0046】一般に、光を外部に取り出す前端面102より、後端面103での反射率の方を高くする必要があるので、上記のように、前端面102における誘電体膜の数を、後端面103における誘電体膜の数より多くしている。

【0047】図1(b)は、図1(a)の線1B-1Bに沿った断面図であり、本実施形態の半導体レーザ装置の構造を模式的に示す。半導体レーザ装置は、図1(b)に示されるように、基板112と、基板112の上に設けられた半導体積層構造体150と、発光に必要な電流(駆動電流)を供給するための一対の電極111および121を備えている。

【0048】基板112としては、(0001)面から[11-20]方向に3.5度程度傾斜しているn型SiCが用いられている。

【0049】以下に、半導体積層構造体150の構成を詳細に説明する。

【0050】この半導体積層構造体150は、基板112に近い側から順番に、n型AlNバッファー層113(厚さ、100nm程度)、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0 ≤ x ≤ 1)114(厚さ、1μm程度)、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層(0 ≤ z ≤ 1)115(厚さ、50nm程度)、p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第1クラッド層(0 ≤ y ≤ 1)116(厚さ、0.2μm程度)、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N狭窄層(0 ≤ u ≤ 1)117(厚さ、0.7μm程度)、p型Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-v</sub>N第2クラッド層(0 ≤ v ≤ 1)118(n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117上の厚さ、0~0.5μm程度)、p型GaNキャップ層119(厚さ、0.5μm程度)、及びp型GaNコンタクト層120(厚さ、0.5μm程度；不純物濃度、約1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上)を含んでいる。なお、n型層の不純物としてSi、p型層の不純物としてMgが用いられている。本発明のp型クラッド層は、上記p型第1クラッド層116およびp型第2クラッド層118を含んでいる。

【0051】n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0 ≤ x ≤ 1)114のA1の組成比xが大きくなればなる程、AlGaNのエネルギーギャップは大きくなり、屈折率は小さくなる。n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層114のA1の組成比xは、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層115のIn組成比zに応じて決まる。In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層115のInの組成比zは、所望の発振波長に応じて調整される。したがって、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層114のA1の組成比xは、所望の発振波長に応じて決められることになる。発振波長を410nm(紫色)にする場合、z=0.15程度となり、これに応じて、xは0.

1から0.2程度にする。

【0052】n型Al<sub>x</sub>GaN電流狭窄層117は、InGaN活性層115の選択された領域（本実施形態では、共振器長方向に延びるストライプ状の領域）に電流を狭窄するための開口部180を持っている。このストライプ状開口部180の幅は、レーザ発振の横モードを調整するように決定される。本実施形態では、開口部180の幅は、1から10μm程度である。p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第1クラッド層116の一部は、開口部180に露出している。開口部180内及びn型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117上には、p型AlGaN第2クラッド層118が形成されている。

【0053】p型GaNコンタクト層120の上面には、p側電極121（Ni/Au）が形成され、基板112の裏面には、n側電極111（Ti/Au）が形成されている。

【0054】不図示の電流供給回路から電極111および121に電圧が与えられ、半導体積層構造体150の中をp側電極121からn側電極111へと電流が流れる。このとき、電流はn型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117によってブロックされるので、電流は狭窄されながらn型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117の間の開口部180を上から下へ流れる。これによって、電流は、InGaN活性層115の開口部180に対応する部分のみを流れる。n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117を設けることによって、InGaN活性層115の選択された領域に電流が狭窄され、横モードの制御されたレーザ発振が生じ、しきい値電流密度の低い半導体レーザ装置が得られる。

【0055】以下に、レーザ光が活性層の選択された領域に閉じ込められる機構について説明する。

【0056】図2は、波長410nmの光が用いられる場合の、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>NのA1の組成x、及びIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>NのInの組成xと、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N及びIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nの屈折率との関係を示す。図2に示されるように、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（曲線①）について、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nの屈折率は、A1の組成xの増加に従って減少する。一方、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（曲線②）の場合、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nの屈折率は、Inの組成xの増加に従って増加する。このことに基づいて、本発明では、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117のA1の組成uを、p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第1クラッド層116のA1の組成y、及びp型Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-v</sub>N第2クラッド層118のA1の組成vより大きくする（u>y、v）ことにより、電流狭窄層117の屈折率を、第1クラッド層116及び第2クラッド層118の屈折率より小さくしている。

【0057】上記のように、A1の組成を制御することによって、電流狭窄層117と、第1クラッド層116及び第2クラッド層118との間に、屈折率の差が付けられる。このため、開口部180の直下の部分の活性層115a（第1領域）と、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄

層117の下方部の活性層115b（第2領域）との間に、屈折率差（活性層の実効屈折率差）△nが生じる。本願明細書で、「活性層の実効屈折率」とは、活性層の内部を伝搬する光が実際に感じる屈折率を指し、活性層及びその近傍の層の屈折率によって決定される。したがって、活性層自体の物的な屈折率差は存在しない場合でも、活性層の近傍からの影響によって、実効屈折率に差があれば、光を活性層内において、活性層自体に屈折率差が存在する場合と同様に挙動させることができる。この実効屈折率差△nによって、活性層115に平行な方向に光が閉じ込められ、屈折率差による光導波が達成できる。これによって、収差のないレーザ光が得られる。

【0058】InGaN活性層115の実効屈折率差△nは、開口部180の幅にも関係する。開口部180の幅が1～8μm程度の場合、開口部180の直下の部分の活性層115aと、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117の下方部の活性層115bとの実効屈折率差△nは、0.003～0.02程度の範囲にあることが好ましい。InGaN活性層115内において、0.003～0.02程度の範囲の実効屈折率差△nを得るために、InGaN活性層115に平行な方向における屈折率差、すなわち、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117と、p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層118、116との間に、0.003～0.02程度の屈折率差を設ければよい。この屈折率差は、先に説明したように、これらの半導体層中のA1の組成（u、y）を適切に設定することによって制御できる。

【0059】図3は、InGaN活性層に平行な方向の屈折率差と、しきい値電流との関係を示す。図3に示されるように、屈折率差が0.02より高いと、素子は高次のモードで発振することになり、一方、屈折率差が0.003より低いと、光は活性層内に有効に閉じ込もらなくなり、光の導波は利得導波になって、しきい値電流が増大する。

【0060】開口部180の幅、及び、p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第1クラッド層116、p型Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-v</sub>N第2クラッド層118とn型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117との屈折率差は、活性層に閉じ込められる光の強度分布を決定する。このことを考慮すると、開口部180の幅を2μm程度、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117のA1の組成比uを0.25程度に設定することが好ましい。また、yとvの値については、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層114のA1の組成xと同じく0.15にする。

【0061】上記のように組成が調整されたp型クラッド層（Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N）116、118、及びn型電流狭窄層（Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N）117を用いることによって、レーザ光が、活性層に平行な方向における屈折率分布で活性層の選択された領域に閉じ込められ

る。これにより、シングルモードで、しきい値電流が低く、収差のないレーザ光を発振できる窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置が実現できる。

【0062】本実施形態では、(0001)面から[11-20]方向に3.5度程度傾斜しているSiC傾斜基板が用いられている。これは、SiC上に、特にAlGaN混晶を堆積する場合に、AlGaN混晶の表面の平坦性を良好にするためである。(0001)ジャスト基板を用いる場合に比べて、傾斜基板を用いる方が、半導体結晶層の表面の平坦性がよくなる。特に、傾斜角度が3度から12度程度までの傾斜基板を用いることによって、基板上に形成される半導体結晶層の表面の平坦性が格段によくなる。本願明細書において、「(0001)ジャスト基板」とは、(0001)面から、いずれの方向にも傾斜していない基板を指す。

【0063】なお、本実施形態では、傾斜基板が用いられているが、もちろん(0001)ジャスト基板を用いてもよい。

【0064】また、電流狭窄層として、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>Nの代わりに、ZnO層を用いることもできる。ZnOは、GaNの格子定数に近い格子定数を有するので、窒化ガリウム系化合物半導体層の上に結晶成長を行うことができる。また、ZnOは絶縁体であり、さらに、活性層で発生する青色レーザ光を吸収できるので、基板の表面に平行な方向において、活性層に実効的に屈折率差をつけることができる。この場合でも、先に述べた理由と同じ理由で、開口部180の直下の活性層115aと、電流狭窄層の下方部の活性層115bとの屈折率差を、0.003~0.02程度の範囲にすることが好ましい。なお、ZnOの代わりに、レーザ光を吸収し、基板の表面に平行な方向において活性層に実効的に屈折率差がつき、かつ、電流を開口部180に流れるよう狭窄できるような材料であれば、電流狭窄層として用いられてもよい。

【0065】さらに、活性層からのレーザ光を吸収するように、活性層よりもバンドギャップの小さい層を電流狭窄層として用いることによって、活性層に平行な方向に屈折率差をつけることができる。例えば、活性層としてIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N (0≤a≤1)が用いられる場合、この層よりもバンドギャップの小さいIn<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N (0≤b≤1)を電流狭窄層に用いることにより、活性層からの光を吸収する層が実現できる。しかも、この電流狭窄層の導電性をn型にすることで、電流を開口部180に集中させ、活性層での電流の広がりを抑制できる。

【0066】以下に、本発明の半導体レーザ装置の共振器160の反射率について説明する。

【0067】図4は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜(屈折率1.65)及びTiO<sub>2</sub>膜(屈折率2.2)を用いて共振器160を形成する場合の、反射率と誘電体膜の厚さとの関係を示す。前端面102には、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜による

2層多層構造が形成されている。後端面103には、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜による4層構造が形成されている。各膜の厚さは、発振波長の4分の1(λ/(4n))、nは誘電体膜の屈折率)程度に相当する。

【0068】図4に示されるように、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜の2層多層構造によって、前端面102の反射率は、約44%まで向上する。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜の4層構造によって、後端面103における反射率は、約64%までに向上する。

【0069】図5は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜及びダイヤモンド膜(C、屈折率3.0)を用いて共振器160を形成する場合の、反射率と誘電体膜の厚さとの関係を示す。この場合、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/C膜の2層多層構造によって、前端面102の反射率は、約65%まで向上する。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/C膜/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜/C膜の4層多層構造によって、後端面103における反射率は、約88%までに向上する。このことから、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜及びダイヤモンド膜を用いることによって、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜及びTiO<sub>2</sub>膜を用いる場合よりさらに反射率を高められることがわかる。

【0070】図6は、SiO<sub>2</sub>膜(屈折率1.45)及びTiO<sub>2</sub>膜を用いて共振器160を形成する場合の、反射率と誘電体膜の厚さとの関係を示す。この場合は、SiO<sub>2</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜の2層多層構造によって、前端面102の反射率は、約54%まで向上する。SiO<sub>2</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜/SiO<sub>2</sub>膜/TiO<sub>2</sub>膜の4層多層構造によって、後端面103における反射率は、約76%となる。

【0071】図7は、SiO<sub>2</sub>膜及びダイヤモンド膜を用いて共振器160を形成する場合の、反射率と誘電体膜の厚さとの関係を示す。この場合は、SiO<sub>2</sub>膜/C膜の2層多層構造によって、前端面102の反射率は、約72%であり、SiO<sub>2</sub>膜/C膜/SiO<sub>2</sub>膜/C膜の4層多層構造によって、後端面103における反射率は、約93%となる。

【0072】Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の熱伝導がよいので、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜のレーザ光に対する安定性が優れている。ダイヤモンドはさらに熱伝導のよい物質であるので、ダイヤモンド膜をレーザ装置の端面に被着することによって、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜を用いる場合よりもさらに放熱性を向上できる。

【0073】以下に、図8(a)~(c)を参照しながら、本実施形態の半導体レーザ装置の特性を説明する。

【0074】図8(a)は、半導体レーザ装置の電流-光出力特性を示す。図8(a)における線aは、本発明による電流狭窄層及び共振器構造を有する半導体レーザ装置の電流-光出力特性を示す。線bは、本発明による共振器構造を有する(電流狭窄層なし)半導体レーザ装置の電流-光出力特性を示す。線cは、比較例としての従来の半導体レーザ装置の電流-光出力特性を示す。

【0075】図9は、比較例としての従来の窒化ガリウ

ム系半導体レーザ装置の構造を模式的に示す。比較例の半導体レーザ装置は、図9に示すように、n型SiC基板902上に、n型AlNバッファー層903、n型AlGaNクラッド層904、InGaN活性層905、p型AlGaNクラッド層906、p型GaNキャップ層909、p型GaNコンタクト層910、及び開口部980を持ったSiO<sub>2</sub>層912を積層した構造を備えている。SiO<sub>2</sub>層912及び開口部980に露出しているp型GaNコンタクト層910の上には、p側電極911が形成されている。基板902の裏面には、n側電極901が形成されている。

【0076】In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層905のInの組成比zを変えることにより、発振波長を紫外(370nm、z=0)から緑(510nm、z=0.5)まで変化させることができる。この点は、図1(b)に示されている半導体レーザ装置の場合と同じである。p型GaNキャップ層909及びp型GaNコンタクト層910は、p型不純物濃度を高くすることにより、p側電極とオーミックコンタクトを形成している。SiO<sub>2</sub>層912は、ストライプ状の開口部980を持っており、電流を開口部980に狭窄する。

【0077】図8(a)に示されるように、本実施形態の半導体レーザ装置(線a)によると、比較例の半導体レーザ装置(線c)の半分以下のしきい値電流が得られる。また、本実施形態によると、5mW以上まで、電流に対して直線性の良い光出力が得られる。

【0078】図9に示す比較例のGaN系半導体レーザ装置の構造では、SiO<sub>2</sub>層912で電流をストライプ状の開口部980に狭窄するが、電流は活性層905に達するまでに横方向に広がってしまう。このため、発振しきい値電流が大きくなる。また、活性層905に平行な方向において、レーザ光を閉じ込めるための屈折率差がないので、レーザ光は利得の高いストライプ状の開口部980の直下に集まる利得導波となる。利得導波で閉じ込められた光は、レーザ装置の端面から放射される場合、大きな収差を持つことになる。これは、光ディスク上に絞り込む時に大きな障害となる。

【0079】本実施形態の半導体レーザ装置によると、電流をInGaN活性層115の電流狭窄層117の開口部180に対応する部分に集中できるので、発振しきい値電流を小さくできる。また、基板112の表面に平行な方向において、InGaN活性層115は実効的な屈折率差を有するので、レーザ光を活性層の選択された領域に閉じ込めることができる。このため、レーザ光の収差は小さくなる。

【0080】図8(b)は、本実施形態による半導体レーザ装置の端面から放射されるレーザ光の、活性層に平行な方向における強度分布を示す。図8(b)から分かるように、半值全角10度の単峰性を示す強度分布が得られる。これは、結晶内で活性層に平行な方向における

屈折率分布によって、光が閉じ込められていることを示す。

【0081】図8(c)は、本実施形態の半導体レーザ装置の発振波長スペクトルを示す。図8(c)から分かるように、本実施形態では、単一縦モード発振を示しており、ピーク波長は412nmであり、縦モード間隔は約0.03nmである。

【0082】以下に、図10(a)～(c)を参照しながら、本実施形態の半導体レーザ装置の製造方法を説明する。半導体結晶層の成長に、有機金属気相成長法(MOVPE法)を用いる。

【0083】まず、図10(a)に示すように、n型SiC基板112上に順次、n型AlNバッファー層113、n型AlGaNクラッド層114、InGaN活性層115、p型AlGaN第1クラッド層116、及びn型Al<sub>1-u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117を成長させる。

【0084】次に、基板112上に、ストライプ状のホトマスクを形成し、図10(b)に示されるように、エッチング処理で、n型Al<sub>1-u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N電流狭窄層117に開口部180を形成する。エッチング処理は、p型AlGaN第1クラッド層116の表面の一部が開口部180に露出するまで行われる。

【0085】次に、再びMOVPE法により、図10(c)に示されるように、基板112上に、p型AlGaN第2クラッド層118、p型GaNキャップ層119、及びp型コンタクト層120を成長する。

【0086】最後に、図示していないが、p型コンタクト層120上にp側電極121、n型SiC基板112の裏面にn側電極111を形成して、半導体レーザが完成する。

【0087】レーザ装置の端面に、共振器を構成する誘電体膜を形成するのに、スパッター法やCVD法が用いられる。しかし、高純度の誘電体膜を屈折率の再現性よく、また膜厚の制御性よく形成するには、スパッター法が優れている。スパッター法では、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等のターゲット材料にArのプラズマを衝突させることによって、ターゲット材料の分子をたたき出す。このため、レーザ端面にもArプラズマによるダメージが加わる。スパッター法を用いて、InGaN系の赤色半導体レーザの端面に誘電体膜を形成する場合、上記のようなダメージによってレーザ装置の寿命が短くなる。一方、GaN系半導体レーザ装置の製造において、GaN系半導体結晶は、ダメージを受け難いため、スパッター法によってAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜を形成できる。SiO<sub>2</sub>膜、TiO<sub>2</sub>膜およびダイヤモンド膜は、いずれもスパッター法を用いて形成できる。

【0088】(第2の実施形態)図11を参照しながら、本発明による半導体レーザ装置の第2の実施形態を説明する。本実施形態と上記第1の実施形態との主な相違点は、基板1112としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が用いられている

ことである。以下に、第1の実施形態と異なる部分のみについて説明する。

【0089】基板1112として用いられるAl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>は絶縁性なので、n側電極1111を形成するためには、図11に示されるように、開口部180に対応していない部分のn型AlGaNクラッド層1114及びその上の層を、n型AlGaNクラッド層1114の一部が露出するまで、選択的にエッティング除去する。このため、本実施形態のn型AlGaNクラッド層1114は、2μm程度の大きい厚さを有する。エッティング除去されるn型AlGaNクラッド層1114の深さは、1μm程度である。n型AlGaNクラッド層1114の露出部上に、n側電極1111が形成されている。

【0090】なお、基板1112上のバッファー層1113は、GaNによって形成されており、100nm程度の厚さを有する。

【0091】本実施形態においても、第1の実施形態と同様に、開口部180を持ったn型Al<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N電流狭窄層117を設けることによって、InGaN活性層115に平行な方向における屈折率差が付けられている。この屈折率差は、第1の実施形態で述べた理由と同様な理由で、0.003～0.02程度の範囲にあることが好ましい。

【0092】以上の説明では、厚さ50nm程度のInGaN活性層が用いられたが、厚さ10nm程度のInGaN層を厚さ50nm程度のAlGaN層で挟んだ単一量子井戸活性層を用いることによって、しきい値電流を更に下げることができる。また、2層以上のInGaN層と、InGaN層の間に厚さ10nm程度のAlGaN層を有する多重量子井戸活性層を用いても、本発明は適用できる。このことは、以下の実施形態についても同様である。

【0093】なお、レーザ発振の際に光導波をより効率的にするために、活性層の上下に、活性層を挟むような一对のAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0≤x≤1）ガイド層を設けてもよい。

【0094】また、以上の説明では、p側電極121とp型GaNコンタクト層120との間に、低抵抗のオーミックコンタクトを形成するために、p型GaNコンタクト層120のp型不純物濃度を1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上にした。GaNよりエネルギーギャップの小さいInGaNを用いることによって、上記オーミックコンタクトの抵抗をさらに下げることができる。この場合、低いコンタクト抵抗を実現するために、p型不純物濃度を1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上にすることが好ましい。

【0095】（第3の実施形態）図12を参照しながら、本発明による半導体レーザ装置の第3の実施形態を説明する。

【0096】図12は、本実施形態の半導体レーザ装置の構造を模式的に示す。この半導体レーザ装置は、図1

2に示されるように、基板112と、基板112の上に設けられた半導体積層構造体1250と、発光に必要な電流（駆動電流）を供給するための一対の電極111および121を備えている。

【0097】基板112としては、（0001）面から[11-20]方向に3.5度程度傾斜しているn型SiCが用いられている。

【0098】以下に、半導体積層構造体1250の構成を詳細に説明する。

【0099】この半導体積層構造体1250は、基板112に近い側から順番に、n型AlNバッファー層113（厚さ、100nm程度）、リッジ1280を有するn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層（0≤x≤1）1214（厚さ、1μm程度）、リッジ1280上に形成されたIn<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層（0≤z≤1）1215（厚さ、50nm程度）、InGaN活性層1215上に形成されたp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第1クラッド層（0≤y≤1）1216（厚さ、200nm程度）、リッジ1280の両側に形成された電流狭窄構造1217を備えている。電流狭窄構造1217及びp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第1クラッド層1216の上にさらに、p型Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-v</sub>N第2クラッド層（0≤v≤1）1218（厚さ、0.5μm程度）、p型GaNキャップ層119（厚さ、0.2μm程度）、及びp型GaNコンタクト層120（厚さ、0.1μm程度；不純物濃度、約1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上）が形成されている。なお、n型層の不純物としてSi、p型層の不純物としてMgが用いられている。本発明のp型クラッド層は、上記p型第1クラッド層1216およびp型第2クラッド層1218を含んでいる。

【0100】p型GaNコンタクト層120の上面には、p側電極121（Ni/Au）が形成され、基板112の裏面には、n側電極111（Ti/Au）が形成されている。

【0101】n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層（0≤x≤1）1214のAlの組成比xが大きくなればなる程、AlGaNのエネルギーギャップは大きくなり、屈折率は小さくなる。n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層1214のAlの組成比xは、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層1215のInの組成比zに応じて決まる。In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層1215のInの組成比zは、所望の発振波長に応じて調整される。したがって、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層1214のAlの組成比xは、所望の発振波長に応じて決められることになる。発振波長を410nm（紫色）にする場合、z=0.15程度となり、これに応じて、xは0.1から0.2程度にする。

【0102】リッジ1280は、共振器長方向に延びるストライプ状を持っており、1～10μm程度の幅m、および0.75μm程度の高さhを有する。

【0103】電流狭窄構造1217は、p型Al<sub>1-u</sub>Ga<sub>u</sub>N埋込層（0≤u≤1）1217a（厚さ、0.2

5 μm程度)とn型Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-v</sub>N埋込層(0 ≤ v ≤ 1)1217b(厚さ、0.5 μm程度)とを含んでいる。電流狭窄構造1217によって、電流は、InGaN活性層1215に対応する領域(本実施形態では、共振器長方向に延びるストライプ状の領域)に狭窄される。

【0104】また、埋込層1217a及び1217bを形成するAlGaNの屈折率をInGaN活性層1215の屈折率より小さくする。言い換えると、InGaN活性層1215の表面に平行な方向において、InGaN活性層1215を含む平面領域は、第1領域(InGaN活性層1215領域)及び該第1領域以外の第2領域(埋込層1217a及び1217bを含む領域)を有し、第1領域の屈折率を第2領域の屈折率より高くする。このことによって、電流狭窄構造1217とInGaN活性層1215との間に屈折率差△n(ここで、実効屈折率差と言ってもよいとする)を付ける。この屈折率差△nは、リッジ1280の幅mをも考慮して調整する。リッジ1280の幅mを1~6 μm程度の場合、以上の実施形態で述べた理由と同様な理由で、InGaN活性層1215と電流狭窄構造1217との間の屈折率差△nは、0.003~0.02程度の範囲にあることが好ましい。

【0105】リッジ1280の幅m、及び、InGaN活性層1215と埋込層1217a、1217bとの屈折率差は、InGaN活性層1215に閉じ込められる光の強度分布を決定する。このことを考慮すると、リッジ1280の幅mを2 μm程度、p型Al<sub>1-u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N埋込層1217aおよびn型Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-v</sub>N埋込層1217bのAl組成比をu=v=0.05程度にすることが好ましい。また、p型Al<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N第1クラッド層1216のAlの組成y、およびp型Al<sub>1-v</sub>Ga<sub>1-v</sub>N第2クラッド層1218のAlの組成vは、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層1214のAlの組成xと同じく、0.15程度に設定する。

【0106】上記のように組成を調整することによって、活性層1215(In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N)と、埋込層1217a、1217b(Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N)との間に、0.008程度の屈折率差△nが付けられる。このため、レーザ光は、活性層1215に平行な方向における屈折率分布によって、活性層1215の選択された領域に閉じ込められる。これにより、シングルモードで、しきい値電流が低く、収差のないレーザ光を発振できる窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置が実現できる。

【0107】本実施形態では、(0001)面から[11-20]方向に3.5度程度傾斜しているSiC傾斜基板が用いられている。これは、SiC上に、特にAlGaN混晶を堆積する場合に、AlGaN混晶の表面の平坦性を良好にするためである。(0001)ジャスト基板を用いる場合に比べて、傾斜基板を用いる場合の方

が、半導体結晶層の表面の平坦性がよくなる。特に、傾斜角度が3度から12度程度までの傾斜基板を用いることによって、基板上に形成される半導体結晶層の表面の平坦性が格段によくなる。

【0108】なお、本実施形態では、傾斜基板が用いられているが、もちろん(0001)ジャスト基板を用いてもよい。

【0109】以下に、図13(a)~(d)を参照しながら、図12の半導体レーザ装置の製造方法を説明する。半導体結晶層の成長に、MOVPE法を用いる。

【0110】まず、図13(a)に示すように、n型SiC基板112上に順次、n型AlNバッファー層113、n型AlGaNクラッド層1214、InGaN活性層1215、及びp型AlGaN第1クラッド層1216を成長させる。

【0111】次に、基板112の表面の全面に、SiO<sub>2</sub>膜を覆う。その後、SiO<sub>2</sub>膜をストライプ状に成形し、ホトマスク1330を形成する。次に、図13(b)に示されるように、エッチング処理で、n型AlGaNクラッド層1214及びその上の半導体層を、n型AlGaNクラッド層1214の一部が露出するまで、選択的にエッチング除去する。こうして、リッジ1280が形成される。n型AlGaNクラッド層1214のエッチング除去される厚さは、n型AlGaNクラッド層1214層の厚さ(約1 μm)の半分程度、すなわち、約0.5 μmである。この工程において、InGaN活性層1215は、その上に形成されたp型AlGaN第1クラッド層1216によって、工程中に起こるダメージから保護される。

【0112】次に、再びMOVPE法により、図13(c)に示されるように、基板112上に、p型Al<sub>1-u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N埋込層1217a、n型AlGaN埋込層1217bを成長させる。この場合、SiO<sub>2</sub>膜1330上には、結晶は成長しない。その後、SiO<sub>2</sub>膜1330を除去する。

【0113】次に、図13(d)に示すように、基板112上に、p型AlGaN第2クラッド層1218、p型GaNキャップ層119、及びp型コンタクト層120を成長する。

【0114】最後に、図示していないが、p型コンタクト層120上にp側電極121、n型SiC基板112の裏面にn側電極111を形成して、半導体レーザ素子が完成する。

【0115】(第4の実施形態)図14を参照しながら、本発明による半導体レーザ装置の第4の実施形態を説明する。本実施形態と上記第3の実施形態との主な相違点は、基板1412としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が用いられていることである。以下に、第3の実施形態と異なる部分のみについて説明する。

【0116】基板1412として用いられるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は

絶縁性なので、n側電極1411を形成するためには、図14に示されるように、リッジ1280に対応していない部分のn型AlGaNクラッド層1414及びその上の層を、n型AlGaNクラッド層1414の一部が露出するまで、選択的にエッチング除去する。このため、本実施形態のn型AlGaNクラッド層1414は、2μm程度の大きい厚さを有する。エッチング除去されるn型AlGaNクラッド層1414の深さは、1μm程度である。n型AlGaNクラッド層1414の露出部上に、n側電極1411が形成されている。

【0117】なお、基板1412上のバッファーレーザー層1413は、GaNによって形成されており、100nm程度の厚さを有する。

【0118】本実施形態においても、第3の実施形態で説明した理由と同様な理由で、InGaN活性層1215と、AlGaN埋込層1217a及び1217bとの間に、0.003～0.02程度の範囲の屈折率差が付けられている。

【0119】(第5の実施形態)以下に、図15を参照しながら、本発明による半導体レーザ装置の第5の実施形態を説明する。

【0120】図15は、本実施形態の半導体レーザ装置の構造を模式的に示す。この半導体レーザ装置は、図15に示されるように、基板112と、基板112の上に設けられた半導体積層構造体1550と、発光に必要な電流(駆動電流)を供給するための一対の電極111および121を備えている。

【0121】基板112としては、(0001)面から[11-20]方向に3.5度程度傾斜しているn型SiCが用いられている。

【0122】以下に、半導体積層構造体1550の構成を詳細に説明する。

【0123】この半導体積層構造体1550は、基板112に近い側から順番に、n型AlNバッファーレーザー層113(厚さ、100nm程度)、n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0≤x≤1)114(厚さ、1μm程度)、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層(0≤z≤1)115(厚さ、50nm程度)、p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層(0≤y≤1)1516(厚さ、1μm程度)、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N埋込層(電流狭窄層、0≤u≤1)1517(0≤u≤1)(厚さ、1μm程度)、p型GaNキャップ層119(厚さ、0.5μm程度)、及びp型GaNコンタクト層120(厚さ、0.5μm程度；不純物濃度、約1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>以上)を含んでいる。なお、n型層の不純物としてSi、p型層の不純物としてMgが用いられている。

【0124】n型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nクラッド層(0≤x≤1)114のAlの組成比xが大きくなればなる程、AlGaNのエネルギーギャップは大きくなり、屈折率は小さくなる。n型AlGaNクラッド層114のAlの

組成比xは、In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層115のInの組成比zに応じて決まる。In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N活性層115のInの組成比zは、所望の発振波長に応じて調整される。したがって、n型AlGaNクラッド層114のAlの組成比xは、所望の発振波長に応じて決められることがある。発振波長を410nm(紫色)にする場合、z=0.15程度となり、これに応じて、xは0.1から0.2程度にする。

【0125】p型AlGaNクラッド層1516は、共振器長方向に延びるストライプ状のリッジ部1580を有する。リッジ部1580の底辺はInGaN活性層115に達していない。n型AlGaN埋込層1517は、リッジ部1580の両側に形成されている。リッジ部1580の幅は、レーザ発振の横モードを調整するよう決定される。本実施形態では、リッジ部1580の幅は、1から10μm程度であり、リッジ部1580の高さは、0.75μm程度である。

【0126】p型GaNコンタクト層120上には、p側電極121(Ni/Au)が形成され、基板112の裏面には、n側電極111(Ti/Au)が形成されている。

【0127】不図示の電流供給回路から電極111および121に電圧が与えられ、半導体積層構造体1550の中をp側電極121からn側電極111へと電流が流れれる。このとき、電流はn型AlGaN埋込層1517によってブロックされるので、電流は狭窄されながらp型AlGaNクラッド層1516のリッジ部1580を上から下へ流れれる。これによって、電流は、InGaN活性層115のリッジ部1580に対応する部分(リッジ部1580の直下に位置する部分)のみを流れれる。上記構成によって、InGaN活性層115の選択された領域に電流が狭窄され、横モードの制御されたレーザ発振が生じ、しきい値電流密度の低い半導体レーザ装置が得られる。

【0128】n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N埋込層1517のAlの組成uを、p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層1516のAlの組成yより大きくする(u>y)ことにより、n型AlGaN埋込層1517の屈折率を、p型AlGaNクラッド層1516の屈折率より小さくしている。このように、Alの組成を制御することによって、InGaN活性層115に平行な方向において、屈折率の差が付けられる。このため、リッジ部1580の直下の部分の活性層115aと、n型AlGaN埋込層1517の下方部の活性層115bとの間に、屈折率差(活性層の実効屈折率差)△nが生じる。この実効屈折率差△nによって、活性層115に平行な方向に光が閉じ込められ、屈折率差による光導波が達成できる。これによって、収差のないレーザ光が得られる。

【0129】InGaN活性層115の実効屈折率差△nは、リッジ部1580の幅にも関係する。リッジ部1

580の幅が1~6μm程度の場合、リッジ部1580の直下の部分の活性層115aと、n型AlGaN埋込層1517の下方部の活性層115bとの実効屈折率差△nは、0.003~0.02程度の範囲にあることが好ましい。屈折率差が0.02より高いと、素子は高次のモードで発振することになる。一方、屈折率差が0.003より低いと、光はInGaN活性層115に隣接する層にしみだし、InGaN活性層115内に有效地に閉じ込められなくなり、光の導波は利得導波になって、しきい値電流が増大する。

【0130】リッジ部1580の幅、及びp型AlGaNクラッド層1516とn型AlGaN埋込層1517との屈折率差は、活性層に閉じ込められる光の強度分布を決定する。このことを考慮すると、リッジ部1580の幅を2μm程度、n型Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>N埋込層1517のAlの組成比uを0.25程度に設定することが好ましい。また、p型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nクラッド層1516のAlの組成yの値は、n型AlGaNクラッド層114のAlの組成xと同じく0.15にする。このように組成を調整することによって、p型クラッド層(Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N)1516と、n型AlGaN埋込層(Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N)1517との間に、0.008の屈折率差が生じる。これによって、活性層に平行な方向のレーザ光が、屈折率分布で活性層の選択された領域に閉じ込められるので、シングルモードで、しきい値電流が低く、収差のないレーザ光を発振できる窒化ガリウム系化合物半導体レーザ装置が実現できる。

【0131】本実施形態では、(0001)面から[11-20]方向に3.5度程度傾斜しているSiC傾斜基板が用いられている。これは、SiC上に、特にAlGaN混晶を堆積する場合に、AlGaN混晶の表面の平坦性を良好にするためである。(0001)ジャスト基板を用いる場合に比べて、傾斜基板を用いる方が、半導体結晶層の表面の平坦性がよくなる。特に、傾斜角度が3度から12度程度までの傾斜基板を用いることによって、基板上に形成される半導体結晶層の表面の平坦性が格段によくなる。なお、本実施形態では、傾斜基板が用いられているが、もちろん(0001)ジャスト基板が用いられてもよい。

【0132】また、電流狭窄層(埋込層1517)として、n型AlGaNの代わりに、ZnO層を用いることもできる。ZnOは、GaNの格子定数に近い格子定数を有するので、窒化ガリウム系化合物半導体層の上に結晶成長を行うことができる。また、ZnOは絶縁体であり、さらに活性層で発生する青色レーザ光を吸収できるので、活性層の平行な方向に実効的に屈折率差をつけることができる。この場合でも、先に述べた理由と同じ理由で、リッジ部1580の直下の活性層115aと、電流狭窄層の下方部の活性層115bとの屈折率差を、0.003~0.02程度の範囲にすることが好まし

い。なお、レーザ光を吸収し、活性層の平行な方向に実効的に屈折率差をつき、かつ、リッジ部1580に流れるように狭窄できるような材料であれば、ZnOの代わりに、電流狭窄層として用いられてもよい。

【0133】さらに、活性層からのレーザ光を吸収するよう、活性層よりもバンドギャップの小さい層を電流狭窄層として用いることによって、活性層に平行な方向に実効的に屈折率差をつけることができる。例えば、活性層としてIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N(0≤a≤1)が用いられる場合、この層よりバンドギャップの小さいIn<sub>b</sub>Ga<sub>1-b</sub>N(0≤a<b≤1)を電流狭窄層に用いることにより、活性層からの光を吸収する層が実現できる。しかも、この電流狭窄層の導電性をn型にすることで、電流をリッジ部1580に集中させ、活性層での電流の広がりが抑制できる。

【0134】以下に、図16(a)~(d)を参照しながら、図15の半導体レーザ装置の製造方法を説明する。半導体結晶層の成長に、MOVPE法を用いる。

【0135】まず、図16(a)に示すように、n型SiC基板112上に順次、n型AlNバッファー層113、n型AlGaNクラッド層114、InGaN活性層115、及びp型AlGaNクラッド層1516(厚さ、1.75μm)を成長させる。

【0136】次に、基板112の表面の全面に、SiO<sub>2</sub>膜を覆う。その後、SiO<sub>2</sub>膜をストライプ状に成形し、ホトマスク1330を形成する。次に、図16(b)に示されるように、エッチング処理によって、p型AlGaNクラッド層1516を、厚さ0.75μm程度選択的にエッチング除去する。こうして、高さ0.75μm程度のリッジ部1580が形成される。

【0137】次に、再びMOVPE法により、図16(c)に示されるように、基板112上に、n型AlGaN埋込層1517を成長させる。この場合、SiO<sub>2</sub>膜1330上には、結晶は成長しない。その後、SiO<sub>2</sub>膜1330を除去する。

【0138】次に、図16(d)に示すように、基板112上に、p型GaNキャップ層119、及びp型コンタクト層120を成長する。

【0139】最後に、図示していないが、p型コンタクト層120上にp側電極121、n型SiC基板112の裏面にn側電極111を形成して、半導体レーザ素子が完成する。

【0140】(第6の実施形態)図17を参照しながら、本発明による半導体レーザ装置の第6の実施形態を説明する。本実施形態と上記第5の実施形態との主な相違点は、基板1712としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が用いられていることである。以下に、第5の実施形態と異なる部分のみについて説明する。

【0141】基板1712として用いられるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は絶縁性なので、n側電極1711を形成するためには、

図17に示されるように、リッジ部1580に対応していない部分のn型AlGaNクラッド層1714及びその上の層を、n型AlGaNクラッド層1714の一部が露出するまで、選択的にエッチング除去する。このため、本実施形態のn型AlGaNクラッド層1714は、2μm程度の大きい厚さを有する。エッチング除去されるn型AlGaNクラッド層1714の深さは、1μm程度である。n型AlGaNクラッド層1714の露出部上に、n側電極1711が形成されている。

【0142】なお、基板1712上のバッファー層1713は、GaNによって形成されており、100nm程度の厚さを有する。

【0143】本実施形態においても、第5の実施形態と同様に、p型AlGaNクラッド層1516のリッジ部1580、及びn型AlGaN埋込層1517を設けることによって、InGaN活性層115に平行な方向における屈折率差が付けられている。この屈折率差は、先の実施形態で述べた理由と同様な理由で、0.003～0.02程度の範囲にあることが好ましい。

【0144】以上の実施形態では、p側電極121としてNi/Auが用いられていたが、本発明はこのことに限定されない。p型電極とp型GaNコンタクト層120との接触抵抗を低減するためには、大きな仕事関数を有するPtまたはPdをp側電極121として用いることが好ましい。

【0145】p側電極121として、例えば、厚さ1000ÅのPt膜をp型GaNコンタクト層120上に形成することによって、レーザ装置の動作電圧は、従来のレーザ装置の動作電圧の約1/3である5Vという値を示す。この理由は次のようである。Ptとp型GaNコンタクト層120との間の価電子帯のポテンシャルバリアは0.29eVであり、一方、従来でp側電極として用いられるNiとp型GaNコンタクト層との間の価電子帯のポテンシャルバリアは0.79eVである。すなわち、本発明によると、p側電極とp型GaNコンタクト層120との間の価電子帯のポテンシャルバリアは、従来のそれより0.50eV小さくなっている。

【0146】また、p側電極121として、PtまたはPdを用いる代わりに、Ni/Ptを用いてもよい。より詳細に説明すると、次のようである。p型GaNコンタクト層120上に厚さ1000Å程度のNi膜を蒸着させた後、Ni膜の上に厚さ1000Å程度のPt膜を蒸着させる。その後、基板を450°C程度で、1.0分熱処理する。

【0147】上記熱処理によって、Ni膜の上に形成されたPt膜のPtは、p型GaNコンタクト層120まで拡散して、p型GaNコンタクト層120と接触する。Ptとp型GaNコンタクト層120との間の価電子帯のポテンシャルバリアは0.29eVであり、一方、従来でp側電極として用いられるNiとp型GaN

コンタクト層との間の価電子帯のポテンシャルバリアは0.79eVである。すなわち、本発明によると、p側電極とp型GaNコンタクト層120との間の価電子帯のポテンシャルバリアは、従来のそれより0.50eV小さくなる。このため、本発明によると、p型電極とp型GaNコンタクト層120との接触抵抗が低減され、レーザ装置の動作電圧は、従来のレーザ装置の動作電圧の約1/3である5Vという値を示す。

【0148】Pt膜の下にNi膜を設けることによって、p側電極(Pt)とp型GaNコンタクト層120との密着性が向上できる。このため、ドライエッチングによって基板をキャビティ長(1mm程度)に加工する工程において、p側電極がはがれるという従来技術の問題は防止できる。

【0149】

【発明の効果】本発明の半導体レーザ装置によると、次のような効果が得られる。

【0150】半導体層の接合面に平行な方向の電流狭窄手段を設けることによって、電流を活性層の選択された領域(ストライプ状の領域)に狭窄できるため、しきい値電流密度は低下できる。

【0151】また、活性層に平行な方向における屈折率差を付けることによって、レーザ光を活性層の選択された領域(ストライプ状の領域)に閉じ込めることができる。このため、収差のないレーザ光が得られ、高い記録密度の光ディスク用の光源として用いることができる。

【0152】さらに、共振器として、レーザ装置の端面に誘電体多層膜を形成することによって、しきい値電流密度はさらに低下する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による半導体レーザ装置の実施形態を示す図。(a)は斜視図、(b)は断面図。

【図2】 $A_{1-x}G_{x}N$ のA1の組成比xと $A_{1-x}G_{x}N$ の屈折率との関係、及び $In_xG_{1-x}N$ のInの組成比xと $In_xG_{1-x}N$ の屈折率との関係を示す図。

【図3】InGaN活性層に水平な方向の屈折率差と、しきい値電流との関係を示す図。

【図4】本発明の共振器として用いられる $Al_2O_3/TiO_2$ 誘電体膜の反射率を示す図。

【図5】本発明の共振器として用いられる $Al_2O_3/C$ 誘電体膜の反射率を示す図。

【図6】本発明の共振器として用いられる $SiO_2/TiO_2$ 誘電体膜の反射率を示す図。

【図7】本発明の共振器として用いられる $SiO_2/C$ 誘電体膜の反射率を示す図。

【図8】(a)は電流-光出力特性を示す図である。

(b)は本発明による半導体レーザ装置の端面より放射されるレーザ光の強度分布を示す図。(c)は本発明による半導体レーザ装置の発振波長スペクトルを示す図。

【図9】比較例の半導体レーザ装置の構造を示す断面

図。

【図10】(a)～(c)は、本発明の第1の実施形態の半導体レーザ装置の製造方法を示す工程断面図。

【図11】本発明の第2の実施形態の半導体レーザ装置の構造を示す断面図。

【図12】本発明の第3の実施形態の半導体レーザ装置の構造を示す断面図。

【図13】(a)～(d)は、本発明の第3の実施形態の半導体レーザ装置の製造方法を示す工程断面図。

【図14】本発明の第4の実施形態の半導体レーザ装置の構造を示す断面図。

【図15】本発明の第5の実施形態の半導体レーザ装置の構造を示す断面図。

【図16】(a)～(d)は、本発明の第5の実施形態の半導体レーザ装置の製造方法を示す工程断面図。

【図17】本発明の第6の実施形態の半導体レーザ装置の構造を示す断面図。

【図18】従来の半導体発光素子の構造を示す断面図。

【符号の説明】

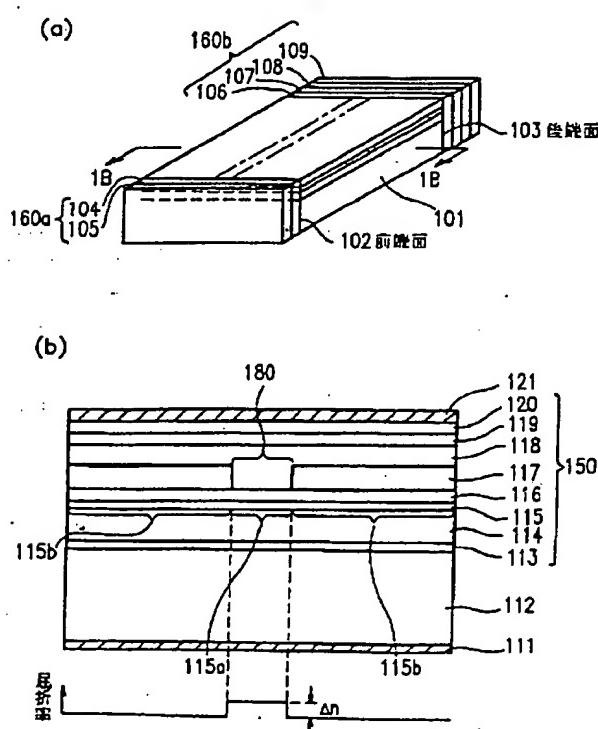
101 積層構造部

102 前端面

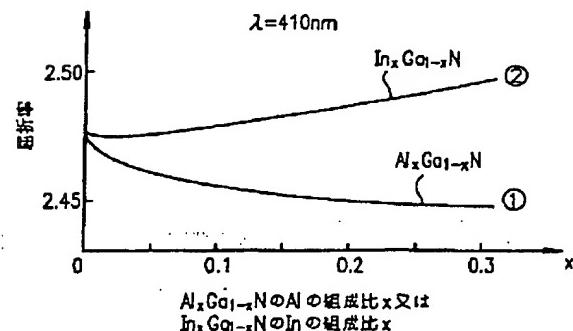
103 後端面

- |      |   |
|------|---|
| 104  | $\text{Al}_2\text{O}_3$ または $\text{SiO}_2$ の4分の1波長膜 |
| 105  | $\text{TiO}_2$ またはダイヤモンドの4分の1波長膜                    |
| 106  | $\text{Al}_2\text{O}_3$ または $\text{SiO}_2$ の4分の1波長膜 |
| 107  | $\text{TiO}_2$ またはダイヤモンドの4分の1波長膜                    |
| 108  | $\text{Al}_2\text{O}_3$ または $\text{SiO}_2$ の4分の1波長膜 |
| 109  | $\text{TiO}_2$ またはダイヤモンドの4分の1波長膜                    |
| 111  | n側電極  |
| 112  | n型SiC基板   |
| 113  | n型AlNバッファー層   |
| 114  | n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ クラッド層       |
| 115  | $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 活性層            |
| 116  | p型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 第1クラッド層     |
| 117  | n型 $\text{Al}_{1-u}\text{Ga}_{u}\text{N}$ 狭窄層       |
| 118  | p型 $\text{Al}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$ 第2クラッド層     |
| 119  | p型GaNキャップ層  |
| 120  | p型GaNコンタクト層   |
| 121  | p側電極  |
| 1111 | n側電極  |
| 1112 | $\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板                          |
| 1113 | n型GaNバッファー層   |
| 1114 | n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ クラッド層       |

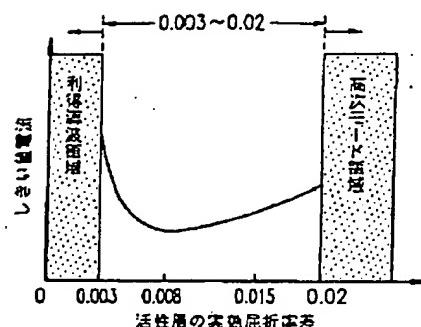
【図1】



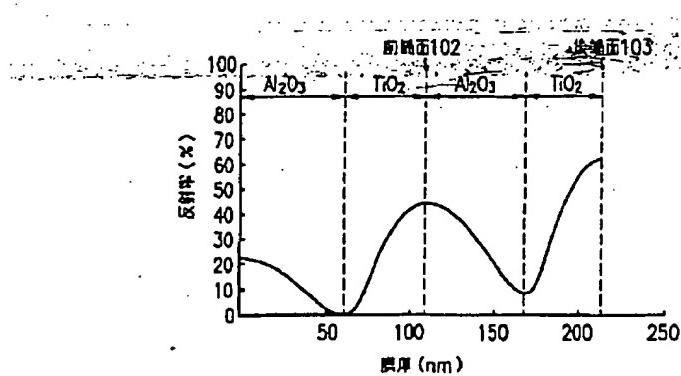
【図2】



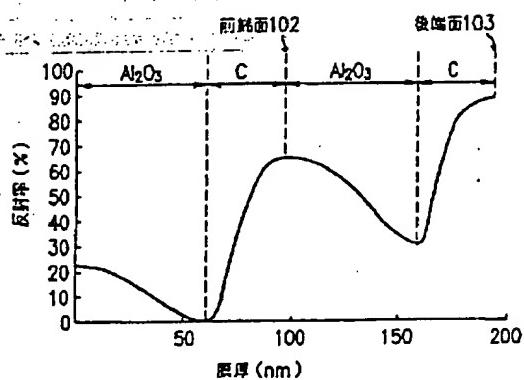
【図3】



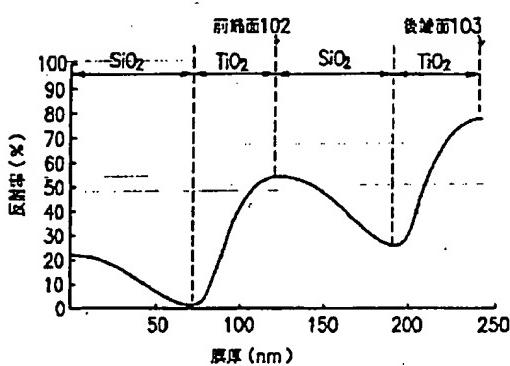
【図4】



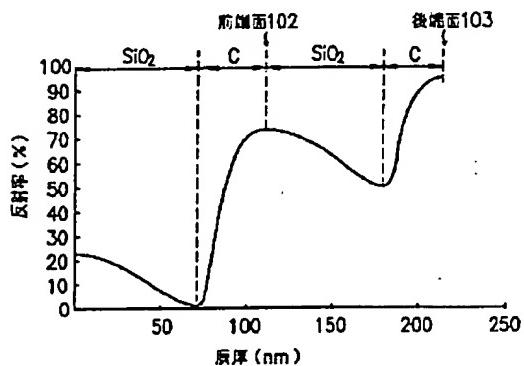
【図5】



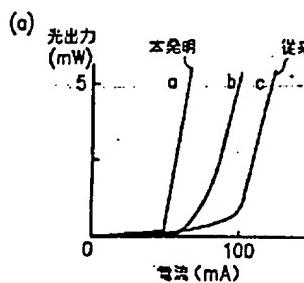
【図6】



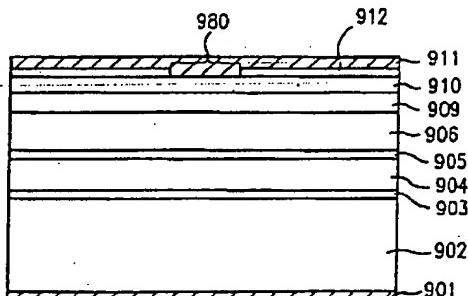
【図7】



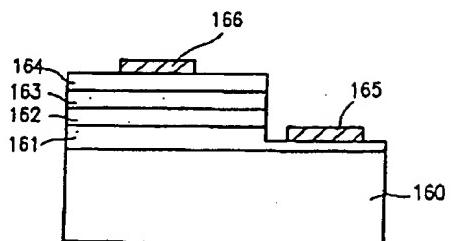
【図8】



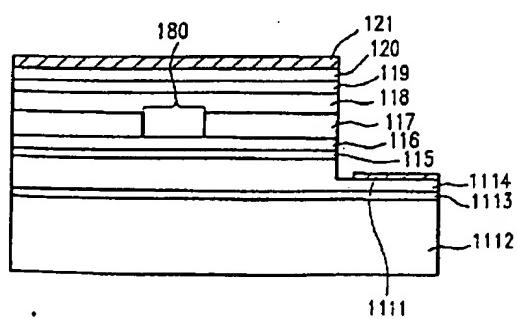
【図9】



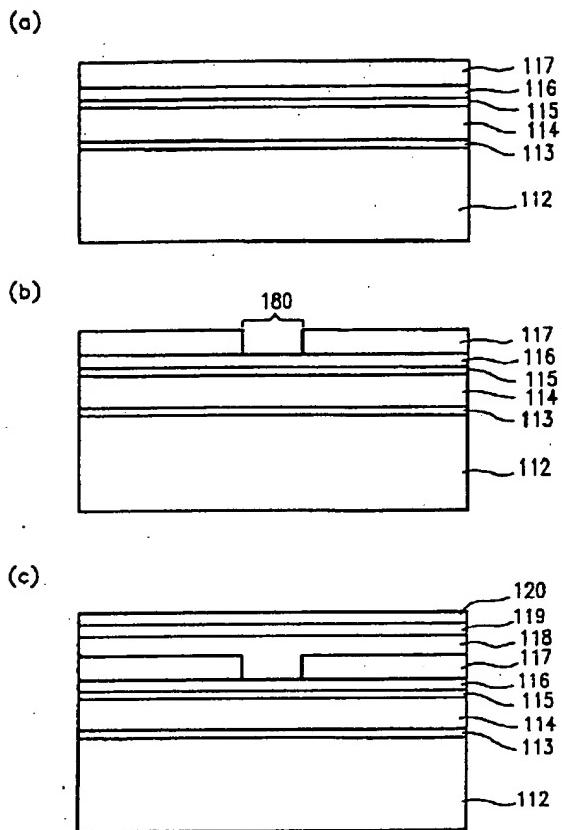
【図18】



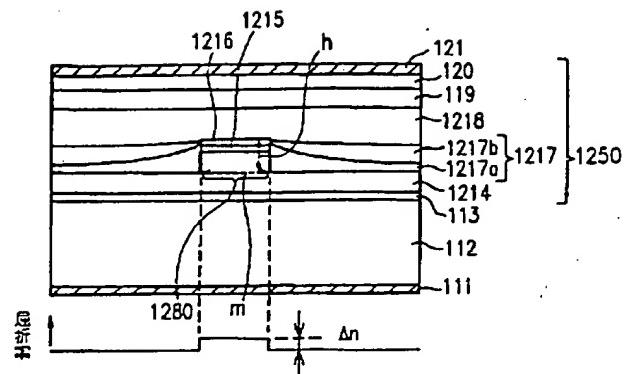
【図11】



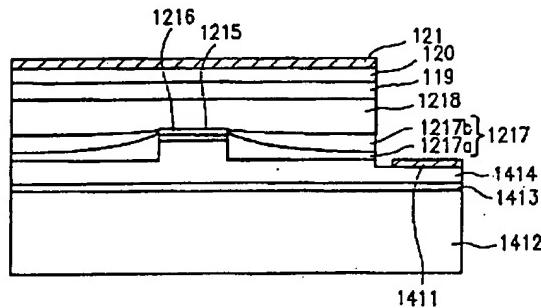
【図10】



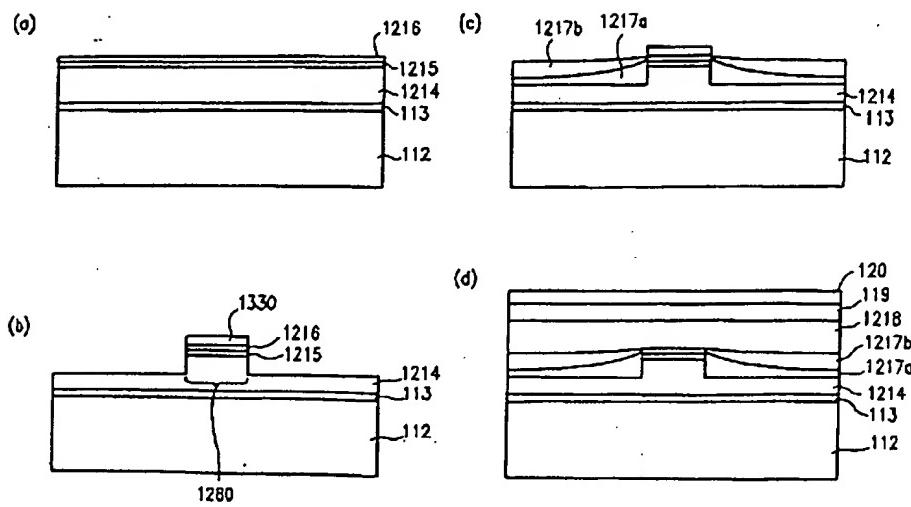
【図12】



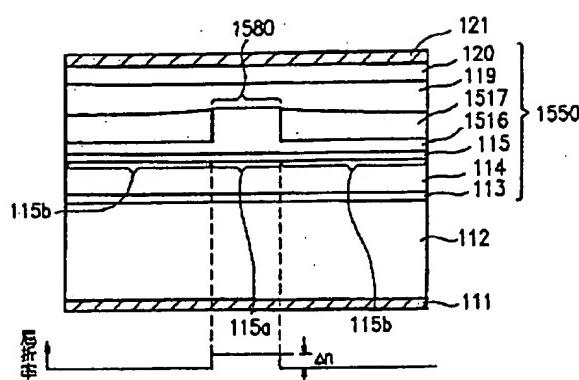
【図14】



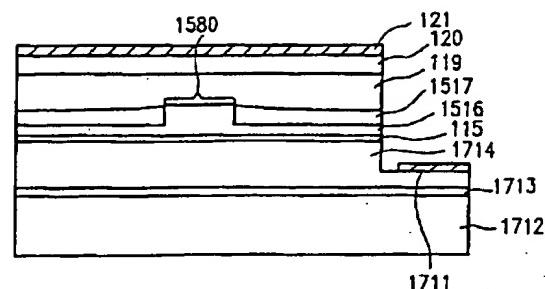
【図13】



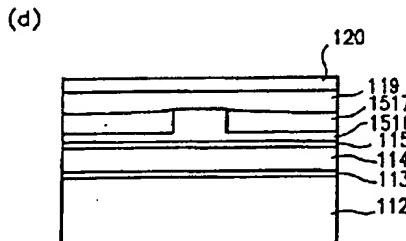
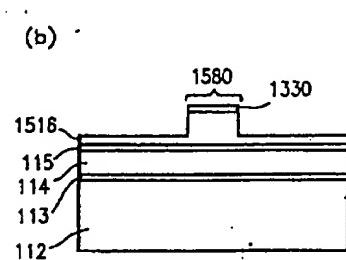
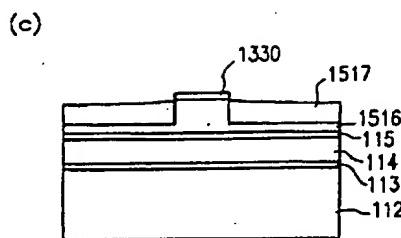
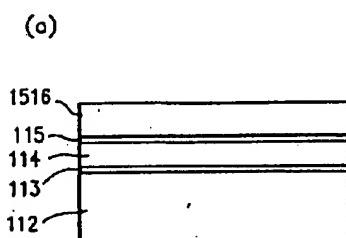
【図15】



【図17】



【図16】



## フロントページの続き

- (31) 優先権主張番号 特願平8-14946  
 (32) 優先日 平8(1996)1月31日  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願平8-16322  
 (32) 優先日 平8(1996)2月1日  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)

- (72) 発明者 上村 信行  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (72) 発明者 武石 英見  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (72) 発明者 木戸口 紲  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内